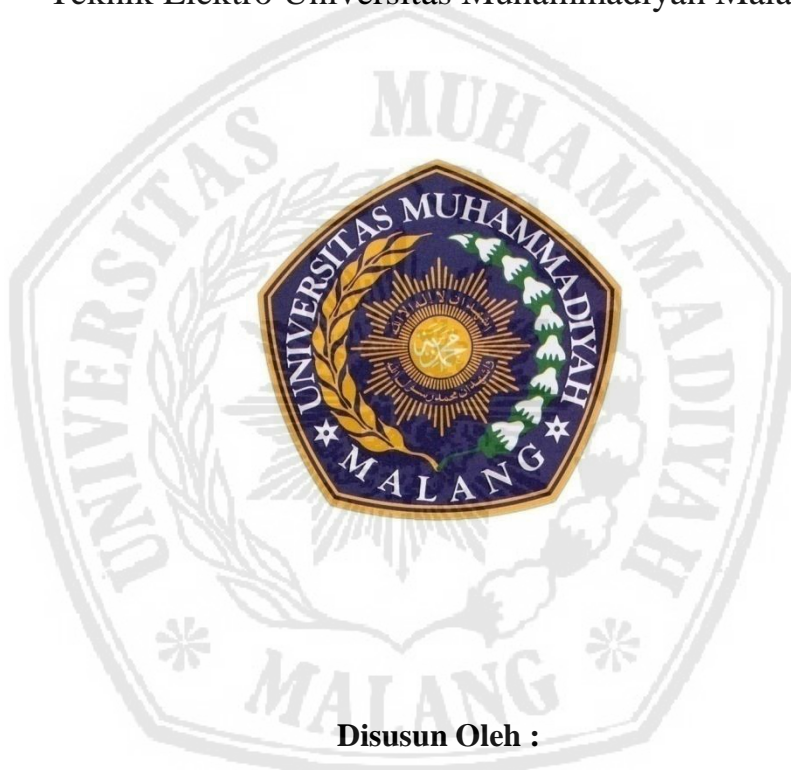


**DESAIN DAN SIMULASI *CASCADED MULTILEVEL*
INVERTER 3 FASA BERBASIS *FUZZY-PI* UNTUK
KOMPENSASI HARMONISA AKIBAT BEBAN NON LINIER**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana (S1)
Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Malang



Disusun Oleh :

ANGGAYUH MUTTAQIEN

201310130311100

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG**

LEMBAR PENGESAHAN

**DESAIN DAN SIMULASI *CASCADED MULTILEVEL*
INVERTER 3 FASA BERBASIS FUZZY-PI UNTUK
KOMPENSASI HARMONISA AKIBAT BEBAN NON LINIER**
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana (S1)

Disusun Oleh:

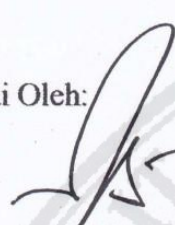
ANGGAYUH MUTTAQIEN

201310130311100



Tanggal Ujian : 13 Oktober 2018

Periode Wisuda : November 2018

Disetujui Oleh:

- 
1. Dr. Zulfatman, ST., M.Eng. (Pembimbing I)
NIDN. 0709117804
 2. Ir. Nur Alif Mardiyah, MT. (Pembimbing II)
NIDN. 0718036502
 3. Dr. Ir. Erimanu Azizul Hakim, MT. (Penguji I)
NIDN. 0705056501
 4. Ir. Nurhadi, MT (Penguji II)
NIDN. 0731126202

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro



Ir. Nur Alif Mardiyah, MT.
NIDN. 0718036502

LEMBAR PERSETUJUAN

DESAIN DAN SIMULASI *CASCADED MULTILEVEL* *INVERTER* 3 FASA BERBASIS *FUZZY-PI* UNTUK KOMPENSASI HARMONISA AKIBAT BEBAN NON LINIER

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana (S1)
Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Malang

Disusun Oleh:

ANGGAYUH MUTTAQIEN

201310130311100

Disetujui Oleh:

Pembimbing I

Dr. Zulfatman, ST., M.Eng

NIDN. 0709117804

Pembimbing II

Ir. Nur Alif Mardiyah, MT.

NIDN. 0718036502

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

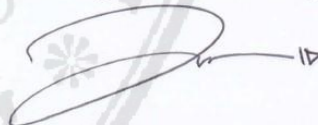
Nama : **AGGAYUH MUTTAQIEN**
Tempat/Tgl. Lahir : **SURABAYA / 20 APRIL 1995**
NIM : **201310130311100**
Fakultas/Jurusan : **TEKNIK/TEKNIK ELEKTRO**

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul **“DESAIN DAN SIMULASI *CASCADED MULTILEVEL INVERTER 3 FASA BERBASIS FUZZY-PI* UNTUK KOMPENSASI HARMONISA AKIBAT BEBAN NON LINIER”** beserta seluruh isinya adalah karya saya sendiri dan bukan merupakan karya tulis orang lain, baik sebagian maupun seluruhnya, kecuali dalam bentuk kutipan yang telah disebutkan sumbernya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya. Apabila kemudian ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya ini, atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya saya ini maka saya siap menanggung segala bentuk resiko/sanksi yang berlaku.

Malang, 20 Oktober 2018

Yang Membuat Pernyataan



ANGGAYUH MUTTAQIEN

Mengetahui,

Pembimbing I



Dr. Zulfatman, ST., M.Eng.

NIDN. 0709117804

Pembimbing II



Ir. Nur Alif Mardiyah, MT.

NIDN. 0718036502

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala Nikmat-Nya, Rahmat-Nya, serta Hidayahnya-Nya. Sholawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada Rasulullah Muhammad Shalallaahu 'Alayhi Wasallam. Atas kehendak dan karunia Allah penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul: “**DESAIN DAN SIMULASI *CASCADED MULTILEVEL INVERTER* 3 FASA BERBASIS *FUZZY-PI* UNTUK KOMPENSASI HARMONISA AKIBAT BEBAN NON LINIER**”. Penulisan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik di Universitas Muhammadiyah Malang. Selain itu penulis berharap tugas akhir ini dapat memperluas pustaka dan pengetahuan utamanya dalam bidang energi terbarukan.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih banyak terdapat kekurangan. Oleh karena itu Penulis berharap saran yang membangun, agar kedepannya menjadi lebih baik dan bermanfaat. Penulis mohon maaf apabila terdapat kesalahan dalam penulisan baik yang sengaja maupun yang tidak disengaja.

Malang, 20 Oktober 2018

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN.....	iv
ABSTRAK	v
LEMBAR PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xvi
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	3
BAB II. DASAR TEORI	
2.1 Penelitian Terdahulu	4
2.2 Dasar Harmonik	5
2.3 Beban Non-linier	7
2.4 Filter Aktif	8
2.5 Metode <i>Triangular-sampling Current</i>	9
2.6 <i>Inverter</i>	10
2.7 <i>Cascaded Multilevel Inverter</i>	10
2.8 <i>PQ Theory</i>	13
2.10 <i>Fuzzy Logic Control</i>	14
BAB III. PERANCANGAN DAN PEMODELAN SISTEM	
3.1 Data Beban Non-linier	16
3.2 Perancangan Pemodelan Simulasi	17

3.2.1 <i>PQ Theory</i>	19
3.2.2 <i>Phase Locked Loop (PLL)</i>	21
3.2.3 <i>Metode Modulasi SPWM</i>	22
3.2.4 <i>Metode Triangular-sampling Current</i>	24
3.2.5 <i>Inverter Konveksional Tiga Fasa</i>	28
3.2.6 <i>5 Level Cascaded Multilevel Inverter</i>	30
3.2.7 <i>Fuzzy Logic Control</i>	31

BAB IV. HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA

4.1 Hasil Simulasi SPWM	35
4.2 Hasil Simulasi <i>Triangular-sampling Current</i>	36
4.3 Hasil Simulasi Tanpa Filter	37
4.4 Hasil Simulasi <i>Inverter Konveksional</i>	39
4.4.1 Hasil Simulasi <i>Inverter Konveksional</i> dengan Beban 2 kW.....	39
4.4.2 Hasil Simulasi <i>Inverter Konveksional</i> dengan Beban 4 kW.....	40
4.4.3 Hasil Simulasi <i>Inverter Konveksional</i> dengan Beban 6 kW.....	42
4.4.4 Pembahasan	43
4.5 Hasil Simulasi <i>Cascaded Multilevel Inverter 5 Level</i>	43
4.5.1 Hasil Simulasi <i>Cascaded Multilevel Inverter 5 Level</i> Beban 2kW	44
4.5.2 Hasil Simulasi <i>Cascaded Multilevel Inverter 5 Level</i> Beban 4kW	45
4.5.3 Hasil Simulasi <i>Cascaded Multilevel Inverter 5 Level</i> Beban 6kW	47
4.5.4 Hasil Simulasi <i>DC-link dan Iref Cascaded Multilevel Inverter 5 Level</i>	48
4.5.5 Pembahasan	49
4.6 Hasil Simulasi <i>Cascaded Multilevel Inverter 5 Level</i> Berbasis <i>Fuzzy-PI</i>	50
4.6.1 Hasil Simulasi <i>Cascaded Multilevel Inverter 5 Level</i> Berbasis <i>Fuzzy-PI</i> dengan Beban 2kW	50
4.6.2 Hasil Simulasi <i>Cascaded Multilevel Inverter 5 Level</i> Berbasis <i>Fuzzy-PI</i> dengan Beban 4kW	51
4.6.3 Hasil Simulasi <i>Cascaded Multilevel Inverter 5 Level</i> Berbasis <i>Fuzzy-PI</i> dengan Beban 4kW	53
4.6.4 Hasil Simulasi <i>DC-link dan Iref Cascaded Multilevel Inverter 5 Level</i> Berbasis <i>Fuzzy-PI</i>	54
4.6.5 Pembahasan	55

4.7 Perbandingan	56
4.8 Pembahasan	56

BAB V. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan	58
5.2 Saran	58

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Gelombang tegangan dan arus beban non-linier	7
Gambar 2.2 Prinsip kerja komentator filter aktif paralel	9
Gambar 2.3 Metode <i>Triangular-sampling Current</i>	9
Gambar 2.4 Struktur satu fasa dari <i>Cascaded H-bridge multilevel inverter</i>	10
Gambar 2.5 Struktur tiga fasa terhubung wye untuk driver kendaraan listrik dan pengisian baterai	12
Gambar 2.6 Elemen <i>Fuzzy Controler</i>	14
Gambar 3.1 Blok diagram sistem secara umum	17
Gambar 3.2 Diagram blok keseluruhan sistem	18
Gambar 3.3 Blok sistem dan kalkulasi <i>pq theory</i>	19
Gambar 3.4 Parameter blok filter <i>butterwoth</i>	20
Gambar 3.5 Parameter blok filter <i>PI-controller</i>	20
Gambar 3.6 Model <i>PLL (phase locked loop)</i> pada <i>MATLAB</i>	21
Gambar 3.7 Blok parameter PLL	21
Gambar 3.8 Blok SPWM	23
Gambar 3.9 Pemodelan SPWM Pada <i>Inverter</i> Konvensional	23
Gambar 3.10 Blok parameter SPWM	24
Gambar 3.11 Blok parameter sinyal segitiga SPWM	24
Gambar 3.12 Blok <i>triangular-sampling current</i>	25
Gambar 3.13 Rangkaian metode <i>triangular-sampling current</i>	26
Gambar 3.14 Blok parameter nilai koefisien P	26
Gambar 3.15 Blok parameter sinyal segita A_{m1}	27
Gambar 3.16 Blok parameter sinyal segita A_{m2}	27
Gambar 3.17 Blok parameter sinyal segita A_{m3}	27
Gambar 3.18 Blok parameter sinyal segita A_{m4}	28
Gambar 3.19 Blok parameter <i>clock</i> pada <i>D-Lacth</i>	28
Gambar 3.20 Pemodelan <i>Inverter</i> Konvensional Tiga Fasa	29

Gambar 3.21 Blok parameter kapasitor <i>DC-link</i>	29
Gambar 3.22 Blok parameter IGBT	30
Gambar 3.23 Pemodelan <i>5 Level Cascaded Multilevel Inverter</i> Satu Fasa	30
Gambar 3.24 Blok parameter kapasitor <i>DC-link</i>	31
Gambar 3.25 Blok Sistem Program <i>Fuzzy</i>	32
Gambar 3.26 Fungsi keanggotaan variabel <i>error</i>	32
Gambar 3.27 Fungsi keanggotaan variabel <i>delta error</i>	33
Gambar 3.28 Fungsi keanggotaan variabel koefisien	33
Gambar 4.1 Keseluruhan desain <i>Cascaded Multilevel Inverter 5 level</i> berbasis <i>Fuzzy-PI</i> pada MATLAB 2016a	34
Gambar 4.2 <i>Input</i> sinyal SPWM 3 fasa dalam sistem <i>openloop</i>	35
Gambar 4.3 Pola <i>switching</i> dari SPWM dalam sistem <i>openloop</i>	35
Gambar 4.4 Sinyal <i>input triangular-sampling current</i> ketika sistem <i>openloop</i> ...	36
Gambar 4.4 Sinyal <i>input triangular-sampling current</i> ketika sistem <i>openloop</i> ...	36
Gambar 4.6 Gelombang tegangan pada sumber sebelum menggunakan APF	38
Gambar 4.6 Gelombang tegangan pada sumber sebelum menggunakan APF	38
Gambar 4.8 Nilai THD arus sumber fasa A sebelum menggunakan APF	38
Gambar 4.9 Arus sumber dengan beban 2 kW ketika menggunakan <i>inverter</i> konvensional sebagai APF	39
Gambar 4.10 Arus <i>output inverter</i> konvensional dengan beban 2 kW	39
Gambar 4.11 Nilai THD arus sumber fasa A ketika menggunakan <i>inverter</i> konvensional sebagai APF dengan beban 2 kW	40
Gambar 4.12 Arus sumber dengan beban 4 kW ketika menggunakan <i>inverter</i> konvensional sebagai APF	40
Gambar 4.13 Arus <i>output inverter</i> konvensional dengan beban 4 kW	41
Gambar 4.14 Nilai THD arus sumber fasa A ketika beban 4 kW dengan <i>inverter</i> konvensional sebagai APF	41
Gambar 4.15 Arus sumber dengan beban 6 kW ketika menggunakan <i>inverter</i> konvensional sebagai APF	42
Gambar 4.16 Arus <i>output inverter</i> konvensional dengan beban 6 kW	42
Gambar 4.17 Nilai THD arus sumber fasa A ketika beban 6 kW dengan <i>inverter</i> konvensional sebagai APF	43

Gambar 4.18 Arus sumber dengan beban 2 kW ketika menggunakan <i>cascaded multilevel inverter 5 level</i> sebagai APF	44
Gambar 4.19 Arus <i>output cascaded multilevel inverter 5 level</i> beban 2 kW	44
Gambar 4.20 Nilai THD arus sumber fasa A ketika beban 2 kW dengan <i>cascaded multilevel inverter 5 level</i> sebagai APF	45
Gambar 4.21 Sinyal <i>grid</i> dengan beban 4 kW ketika menggunakan <i>cascaded multilevel inverter 5 level</i> sebagai APF	45
Gambar 4.22 Arus <i>output cascaded multilevel inverter 5 level</i> beban 4 kW	46
Gambar 4.23 Nilai THD arus sumber fasa A ketika beban 4 kW dengan <i>cascaded multilevel inverter 5 level</i> sebagai APF	46
Gambar 4.24 Arus sumber dengan beban 6 kW ketika menggunakan <i>cascaded multilevel inverter 5 level</i> sebagai APF	47
Gambar 4.25 Arus <i>output cascaded multilevel inverter 5 level</i> beban 6 kW	47
Gambar 4.26 Nilai THD arus sumber fasa A ketika beban 6 kW dengan <i>cascaded multilevel inverter 5 level</i> sebagai APF	48
Gambar 4.27 Nilai tegangan pada <i>DC-link</i> menggunakan <i>PI-Controller</i>	48
Gambar 4.28 Nilai arus referensi pada keluaran <i>pq theory</i> ketika menggunakan <i>PI-Controller</i>	49
Gambar 4.29 Arus sumber dengan beban 2 kW ketika menggunakan <i>cascaded multilevel inverter 5 level</i> berbasis <i>Fuzzy-PI</i> sebagai APF	50
Gambar 4.30 Arus <i>output cascaded multilevel inverter 5 level</i> berbasis <i>Fuzzy-PI</i> dengan beban 2 kW	50
Gambar 4.31 Nilai THD arus sumber fasa A ketika beban 2 kW dengan <i>cascaded multilevel inverter 5 level</i> berbasis <i>Fuzzy-PI</i> sebagai APF	51
Gambar 4.32 Arus sumber dengan beban 4 kW ketika menggunakan <i>cascaded multilevel inverter 5 level</i> berbasis <i>Fuzzy-PI</i> sebagai APF	51
Gambar 4.33 Arus <i>output cascaded multilevel inverter 5 level</i> berbasis <i>Fuzzy-PI</i> dengan beban 4 kW	52
Gambar 4.34 Nilai THD arus sumber fasa A ketika beban 4 kW dengan <i>cascaded multilevel inverter 5 level</i> berbasis <i>Fuzzy-PI</i> sebagai APF	52
Gambar 4.35 Arus sumber dengan beban 6 kW ketika menggunakan <i>cascaded multilevel inverter 5 level</i> berbasis <i>Fuzzy-PI</i> sebagai APF	53
Gambar 4.36 Arus <i>output cascaded multilevel inverter 5 level</i> berbasis <i>Fuzzy-PI</i> dengan beban 6 kW	53

Gambar 4.37 Nilai THD arus sumber fasa A ketika beban 6 kW dengan <i>cascaded multilevel inverter 5 level</i> berbasis <i>Fuzzy-PI</i> sebagai APF.....	54
Gambar 4.38 Nilai tegangan pada <i>DC-link</i> menggunakan <i>Fuzzy-PI</i>	54
Gambar 4.39 Nilai arus referensi pada keluaran <i>pq theory</i> ketika menggunakan <i>Fuzzy-PI</i>	55



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data spesifikasi beban	16
Tabel 3.2 Data spesifikasi sistem	19
Tabel 3.3 <i>Rule base fuzzy</i>	34
Tabel 4.1 Tabel perbandingan THD	56



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rashid, M.H., POWER ELECTRONICS HANDBOOK: devices, circuits, and applications handbook. USA, Butterworth-Heinemann, 2011.
- [2] Nizar Arifansyah, M., “Analisis Dan Simulasi *Cascaded Multilevel Inverter* Sebagai Sumber Motor Induksi”, Malang, Universitas Muhammadiyah Malang, 2013.
- [3] Widyastuti, I., “Rancang Bangun Inverter SPWM Satu Fasa untuk Beban Rumah Tangga Pada Solar Home Energy”, Surabaya, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, 2013.
- [4] Yuanti, A., “Desain dan Simulasi Filter Daya Aktif Shunt untuk Kompensasi Harmonisa Menggunakan Metode Cascaded Multilevel Inverter”, Surabaya, Insitut Teknologi Sepuluh Nopember, 2011.
- [5] Eswaran Chandra, S. Ponna Nadar, A. and Chelliah, P., “Analysis and Simulation of A New Shunt Active Filter Using Cascaded Multilevel Inverter”, Journal Of Electrical Engineering, Vol.58, No.5, India, Coimbatore Institute of Technology, 2007.
- [6] Preethi Karalapati, Anil G., Vani E., 2013, Speed Control of Induction Motor Using Eleven Leves Multilevel Inverter, International Journal of Science and Modern Engineering (IJISME) ISSN:2319-6386, Volume-1, Issue-5, April 2013.
- [7] Karuppanan P., “Cascaded Multilevel Inverter based Active Filter for Power Line Conditioners using Instantaneous Real-Power Theory”, IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 46, NO. 5, pp.133 – 138, 2017
- [8] Arya K, C. Vijaya, “Fuzzy Logic Controller Based Instantaneous p-q Theory for Power Quality Improvement”, IEEE International Conference on Technological Advancements in Power and Energy, 2017
- [9] Arifufin Basyri, Roy, “Sinkronisasi Inverter Satu Fasa dengan Jaringan Distribusi Menggunakan Kontrol Arus Hysterisis Current Control”, Malang, Universitas Muhammdiyah Malang, 2016.
- [10] Rositasari, A., “Desain Penggunaan Filter Aktif Shunt Berbasis Fuzzy Logic Controller untuk Menggunakan Harmonisa pada Sistem Kelistrikan Universitas Muhammadiyah Malang (Kampus 3 GKB 1)”, Malang, Universitas Muhammadiyah Malang, 2015.